

PATENT

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

In re application of: **Mami NAKADATE et al.**

Serial Number: **Not Yet Assigned**

Filed: **February 3, 2004**

For: **SOLDER JOINT LIFE PREDICTION METHOD**

Attorney Docket No.: **042072**

Customer No.: **38834**

**CLAIM FOR PRIORITY UNDER 35 U.S.C. 119**

Commissioner for Patents  
P. O. Box 1450  
Alexandria, VA 22313-1450

February 3, 2004

Sir:

The benefit of the filing date of the following prior foreign application is hereby requested for the above-identified application, and the priority provided in 35 U.S.C. 119 is hereby claimed:

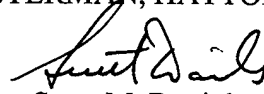
**Japanese Appln. No. 2003-027836, filed on February 5, 2003**

In support of this claim, the requisite certified copy of said original foreign application is filed herewith.

It is requested that the file of this application be marked to indicate that the applicants have complied with the requirements of 35 U.S.C. 119 and that the Patent and Trademark Office kindly acknowledge receipt of said certified copy.

In the event that any fees are due in connection with this paper, please charge our Deposit Account No. 50-2866.

Respectfully submitted,  
WESTERMAN, HATTORI, DANIELS & ADRIAN, LLP

  
Scott M. Daniels  
Reg. No. 32,562

1250 Connecticut Avenue, N.W., Suite 700  
Washington, D.C. 20036  
Tel: (202) 822-1100  
Fax: (202) 822-1111  
SMD/yap



日 本 国 特 許 庁  
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

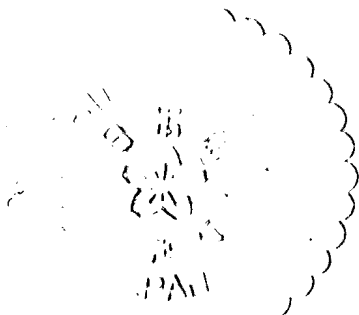
This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日                      2 0 0 3 年    2 月    5 日  
Date of Application:

出 願 番 号                      特 願 2 0 0 3 - 0 2 7 8 3 6  
Application Number:

[ST. 10/C] :                      [ J P 2 0 0 3 - 0 2 7 8 3 6 ]

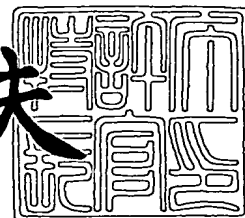
出      願      人                      富 士 通 株 式 会 社  
Applicant(s):



2 0 0 3 年 1 0 月 1 4 日

特許庁長官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

今 井 康 夫



出証番号    出証特 2 0 0 3 - 3 0 8 4 5 0 1



【書類名】 特許願

【整理番号】 0253760

【提出日】 平成15年 2月 5日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 G01N 33/00  
H01R 4/00

【発明の名称】 はんだ接合寿命予測方法

【請求項の数】 8

【発明者】

    【住所又は居所】 神奈川県川崎市中原区上小田中 4 丁目 1 番 1 号 富士通株式会社内

    【氏名】 中楯 真美

【発明者】

    【住所又は居所】 神奈川県川崎市中原区上小田中 4 丁目 1 番 1 号 富士通株式会社内

    【氏名】 坂入 慎

【特許出願人】

    【識別番号】 000005223

    【氏名又は名称】 富士通株式会社

【代理人】

    【識別番号】 100094330

    【弁理士】

    【氏名又は名称】 山田 正紀

【選任した代理人】

    【識別番号】 100109689

    【弁理士】

    【氏名又は名称】 三上 結



【手数料の表示】

【予納台帳番号】 017961

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9912909

【プルーフの要否】 要



【書類名】 明細書

【発明の名称】 はんだ接合寿命予測方法

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 部材どうしを接合した接合はんだの接合寿命を予測するはんだ接合寿命予測方法において、

はんだ接合部に疲労試験を与えながら接合はんだの初期き裂未発生の段階の相成長を観察して該相成長を外挿することにより該接合はんだに初期き裂が発生する初期き裂発生時期を予測する初期き裂発生時期予測ステップと、

有限要素法を用い、データ上の接合はんだに仮想初期き裂を与えてクリープ解析を行なうことにより、仮想き裂が接合はんだの破断に相当する長さまで進展した破断時期を算出する破断時期算出ステップとを有することを特徴とするはんだ接合寿命予測方法。

【請求項 2】 前記破断時期算出ステップは、有限要素法を用いデータ上の接合はんだに仮想初期き裂を与えた弾塑性クリープ解析により相当非線形ひずみ振幅  $\Delta \epsilon$  を算出し、Manson-Coffin 則を適用して該相当非線形ひずみ振幅  $\Delta \epsilon$  をき裂進展速度に変換し、該き裂進展速度から破断時期を算出するステップであることを特徴とする請求項 1 記載のはんだ接合寿命予測方法。

【請求項 3】 前記破断時期算出ステップは、有限要素法を用いデータ上の接合はんだに仮想初期き裂を与えた弾性クリープ解析によりクリープ J 積分範囲  $\Delta J_c$  を算出し、該クリープ J 積分範囲  $\Delta J_c$  をき裂進展速度に変換し、該き裂進展速度から破断時期を算出するステップであることを特徴とする請求項 1 記載のはんだ接合寿命予測方法。

【請求項 4】 あらかじめ、接合はんだに初期き裂が発生するまではんだ接合部に疲労試験を与え該接合はんだに初期き裂が発生した時点における相成長を実測しておく実測ステップを有し、

前記初期き裂発生時期予測ステップは、はんだ接合部に疲労試験を与えながら接合はんだの初期き裂未発生の段階の相成長を観察し該相成長を外挿して前記実測ステップにおける初期き裂が発生した時点における相成長の実測値に相当する相成長に達する時期を、前記初期き裂発生時期として予測するステップであるこ



とを特徴とする請求項 1 記載のはんだ接合寿命予測方法。

【請求項 5】 前記実測ステップは、前記接合はんだに初期き裂が発生した相成長を実測しておくとともに、該初期き裂が発生した後も前記はんだ接合部に破断に相当するき裂が発生するまで疲労試験を与えることにより該初期き裂発生時期を起点とした破断時期を実測しておくステップであり、

前記破断時期算出ステップにおける演算と同一の演算により算出される破断時期が前記実測ステップで実測された破断時期に相応するようにデータ上の接合はんだに与える仮想初期き裂の長さを求めておく仮想初期き裂算出ステップを有し、

前記破断時期算出ステップは、有限要素法を用い、データ上の接合はんだに、前記仮想初期き裂算出ステップで求められた長さの仮想初期き裂を与えてクリープ解析を行なうステップであることを特徴とする請求項 4 記載のはんだ接合寿命予測方法。

【請求項 6】 前記初期き裂発生時期予測ステップは、はんだ接合部に、前記疲労試験として温度サイクル試験を与えて前記初期き裂発生時期を予測するステップであることを特徴とする請求項 1 記載のはんだ接合寿命予測方法。

【請求項 7】 前記初期き裂発生時期予測ステップは、はんだ接合部に、前記疲労試験として機械サイクル試験を与えて前記初期き裂発生時期を予測するステップであることを特徴とする請求項 1 記載のはんだ接合寿命予測方法。

【請求項 8】 前記初期き裂発生時期予測ステップは、はんだ接合部に、前記疲労試験として荷重負荷高温保持試験を与えて前記初期き裂発生時期を予測するステップであることを特徴とする請求項 1 記載のはんだ接合寿命予測方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、部材どうしを接合した接合はんだの接合寿命を予測するはんだ接合寿命予測方法に関する。

【0002】

【従来の技術】

エレクトロニクス機器の軽薄化、小型化に伴い、電子デバイスはんだ接合部の疲労強度信頼性確保が重要な課題の一つとなってきた。

#### 【0003】

はんだ接合部の信頼性評価にあたっては、従来、加速温度サイクル試験等で評価が行われているが、試験期間に数ヶ月を要し、製品の市場投入期間の短縮化に伴い、製造段階における信頼性評価の短縮化が課題となっている。

#### 【0004】

このような状況下にあって、はんだ接合部の信頼性評価の研究も進んでおり、これまでのところ、はんだの相成長が進むとはんだにき裂が生じることがわかっており、はんだの相成長を観察してはんだ接合部の信頼性を評価することが提案されている（例えば非特許文献1参照）。また、有限要素法によるミシユレーションにより、接合はんだに仮想的な初期き裂を与えてき裂進展解析を行ない、き裂進展速度を算出して破断時期を予測する手法が提案されている（非特許文献2, 3参照）。

#### 【0005】

##### 【非特許文献1】

社団法人 日本機械学会 研究協力部会 研究報告書 RC162 エレクトロニクス実装における信頼性評価に関する研究分科会 第20章

「BGAはんだバンプ接合部のき裂進展解析」

(株)東芝 研究開発センター 機械・システムラボラトリー 向井 稔、高橋 浩之、川上 崇 東京工業大学工学部 峯本喜久雄

##### 【非特許文献2】

佐山、他2名、相成長パラメータによるはんだ接合部の熱疲労き裂発生寿命評価、日本機械学会 7th Symposium on Microjoining and Assembly Technology in Electronics、(2001)、35-40

##### 【非特許文献3】

佐山、他2名、相成長パラメータによるはんだ接合部の熱疲労き裂発生寿命評価の信頼性、日本機械学会 7th Symposium on Microj

oining and Assembly Technology in Electronics、(2001)、41-46

【0006】

【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、はんだの相成長を観察してはんだにき裂が発生する時点を見つけても、はんだにき裂が発生したからと言って、はんだの破断が直ちに発生する訳ではなく、き裂の発生時期と相成長とを精密に対応づけても、それによってはんだの実用上の寿命を知ることは困難である。

【0007】

また、接合はんだに仮想的な初期き裂を与えてき裂進展解析をシミュレーションする手法の場合、製造直後のエレクトロニクス機器のはんだ接合部にき裂が生じている訳ではなく、このシミュレーションによってもはんだ破断までの寿命を精確に知ることは困難である。

【0008】

このように、従来、はんだ接合部の寿命を予測する様々な手法が知られており、例えば設計段階では短期間で評価が可能なき裂進展解析シミュレーションが用いられることがあるが、製造段階では、従来の寿命予測手法ではまだまだ信頼性に欠けるため、その製品に対し何カ月もの長期間をかけて実際に加速温度サイクル試験等を行なっているのが現状である。

【0009】

本発明は、上記事情に鑑み、はんだ接合部の寿命を高精度かつ短期間に予測することのできるはんだ接合寿命予測方法を提供することを目的とする。

【0010】

【課題を解決するための手段】

上記目的を達成する本発明のはんだ接合寿命予測方法は、部材どうしを接合した接合はんだの接合寿命を予測するはんだ接合寿命予測方法において、

はんだ接合部に疲労試験を与えながら接合はんだの初期き裂未発生の段階の相成長を観察してその相成長を外挿することにより接合はんだに初期き裂が発生する初期き裂発生時期を予測する初期き裂発生時期予測ステップと、



有限要素法を用い、データ上の接合はんだに仮想初期き裂を与えてクリープ解析を行なうことにより、仮想き裂が接合はんだの破断に相当する長さまで進展した破断時期を算出する破断時期算出ステップとを有することを特徴とする。

#### 【0011】

ここで、「有限要素法 (FEM: Finite Element Method)」とは、物体内部のいろいろな状態、たとえば、物体に力を加えたときの変形の模様、ひずみの分布、応力の分布などをコンピュータで計算するための数学的方法の一種である。また、「クリープ解析」は材料解析の一種であり、一定温度、一定応力のもとで時間の経過とともに材料の変形が進行する現象をクリープといい、この性質を調べることをクリープ解析という。

#### 【0012】

はんだ接合部に例えば温度サイクル試験等の疲労試験を与え続けると、暫らくしてき裂が発生し、その後そのき裂が徐々に進展してついには破断に至る。そこで本発明は、この破断に至る過程に着目し、初期き裂未発生段階の相成長を観察することによってその相成長を外挿して接合はんだに初期き裂が発生する初期き裂発生時期を予測し、初期き裂発生後に関しては、データ上の接合はんだに仮想初期き裂を与えてクリープ解析を行なうというシミュレーションにより破断時期を算出するようにしたものである。

#### 【0013】

本発明では、このように、各手法に得意な部分を分担させたことにより、はんだ接合寿命を高精度に予測することができる。

#### 【0014】

また、上記の初期き裂発生時期予測ステップは初期き裂未発生段階のみ相成長を観察すればよく、あとは外挿して初期き裂発生時期を予測することができる。また、破断時期算出ステップは、シミュレーションであって短時間で済み、しかも初期き裂発生時期予測ステップと並行して実施することができ、従来のように破断に至るまで温度サイクル試験等の疲労試験を与え続けて寿命を測定していた場合と比べ、はんだ接合寿命を、例えば1カ月、あるいはそれよりもさらに短時間で予測することができる。

## 【0015】

ここで、上記本発明のはんだ接合寿命予測方法において、上記破断時期算出ステップは、有限要素法を用いデータ上の接合はんだに仮想初期き裂を与えた弾塑性クリープ解析により相当非線形ひずみ振幅 $\Delta \epsilon$ を算出し、Manson-Coffin則を適用してその相当非線形ひずみ振幅 $\Delta \epsilon$ をき裂進展速度に変換し、そのき裂進展速度から破断時期を算出するステップであつてもよく、

あるいは上記破断時期算出ステップは、有限要素法を用いデータ上の接合はんだに仮想初期き裂を与えた弾塑性クリープ解析によりクリープJ積分範囲 $\Delta J_c$ を算出し、そのクリープJ積分範囲 $\Delta J_c$ をき裂進展速度に変換し、そのき裂進展速度から破断時期を算出するステップであつてもよい。

## 【0016】

また、本発明のはんだ接合寿命予測方法において、あらかじめ、接合はんだに初期き裂が発生するまではんだ接合部に疲労試験を与えその接合はんだに初期き裂が発生した時点における相成長を実測しておく実測ステップを有し、

上記初期き裂発生時期予測ステップは、はんだ接合部に疲労試験を与えながら接合はんだの初期き裂未発生段階の相成長を観察しその相成長を外挿して上記実測ステップにおける初期き裂が発生した時点における相成長の実測値に相当する相成長に達する時期を、初期き裂発生時期として予測するステップであることが好ましい。

## 【0017】

また、この場合に、上記実測ステップは、接合はんだに初期き裂が発生した相成長を実測しておくとともに、その初期き裂が発生した後もはんだ接合部に破断に相当するき裂が発生するまで疲労試験を与えることにより初期き裂発生時期を起点とした破断時期を実測しておくステップであり、

上記破断時期算出ステップにおける演算と同一の演算により算出される破断時期が実測ステップで実測された破断時期に相応するようにデータ上の接合はんだに与える仮想初期き裂の長さを求めておく仮想初期き裂算出ステップを有し、

上記破断時期算出ステップは、有限要素法を用い、データ上の接合はんだに、仮想初期き裂算出ステップで求められた長さの仮想初期き裂を与えてクリープ解

析を行なうステップであることがさらに好ましい。

#### 【0018】

本発明のはんだ接合寿命予測方法において、上記初期き裂発生時期予測ステップは、はんだ接合部に、疲労試験として温度サイクル試験を与えて初期き裂発生時期を予測するステップであってもよく、あるいは上記初期き裂発生時期予測ステップは、はんだ接合部に、疲労試験として機械サイクル試験を与えて初期き裂発生時期を予測するステップであってもよく、あるいは、上記初期き裂発生時期予測ステップは、はんだ接合部に、疲労試験として荷重負荷高温保持試験を与えて初期き裂発生時期を予測するステップであってもよい。

#### 【0019】

##### 【発明の実施の形態】

以下、本発明の実施形態について説明する。

#### 【0020】

図1は、本発明のはんだ接合寿命予測方法の一実施形態の処理フローを示す図である。

#### 【0021】

この図1には、実測ステップ（ステップS1）、仮想初期き裂算出ステップ（ステップS2）、初期き裂発生時期予測ステップ（ステップS3）、および破断時期算出ステップ（ステップS4）が示されている。

#### 【0022】

実測ステップ（ステップS1）は、あらかじめ、接合はんだに初期き裂が発生するまではんだ接合部に疲労試験を与え接合はんだに初期き裂が発生した時点における相成長を実測しておくステップである。本実施形態では、この実測ステップでは、接合はんだに初期き裂が発生した相成長を実測しておくとともに、その初期き裂が発生した後もはんだ接合部に破断に相当するき裂が発生するまで疲労試験を与えることにより初期き裂発生時を起点とした破断時期を実測しておく。

#### 【0023】

ここで、疲労試験としては、温度の規則的な上昇、下降を繰り返す温度サイクル試験、機械的な負荷を規則的に変化させる機械サイクル試験、荷重負荷をかけ

て所定の高温状態に保持する荷重負荷高温保持試験等のいずれをも採用することができる。

#### 【0 0 2 4】

また、仮想初期き裂算出ステップ（ステップ S 2）は、後述する破断時期算出ステップ（ステップ S 4）における演算と同一の演算により算出される破断時期がステップ S 1 の実測ステップで実測された破断時期に相応するようにデータ上の接合はんだに与える仮想初期き裂の長さを求めておくステップである。

#### 【0 0 2 5】

これらの実測ステップ（ステップ S 1）および仮想初期き裂算出ステップ（ステップ S 2）は、以下に説明する初期き裂発生時期予測ステップ（ステップ S 3）および破断時期算出ステップ（ステップ S 4）で用いるデータを収集するための準備的なステップであり、十分なデータを一旦収集した後は、例えば新たな材料のはんだを使用するなど、それまでに収集したデータだけでは不十分となる状況が生じた場合以外は実施する必要はなく、それまでに収集したデータを使用できるときは、新たなエレクトロニクス機器を開発した場合であっても、実測ステップ（ステップ S 1）および仮想初期き裂算出ステップ（ステップ S 2）を実行する必要はない。

#### 【0 0 2 6】

これに対し、初期き裂発生時期予測ステップ（ステップ S 3）および破断時期算出ステップ（ステップ S 4）は、新たなエレクトロニクス機器を開発した際に、そのエレクトロニクス機器のはんだ接合寿命を知るために実行する必要のあるステップである。

#### 【0 0 2 7】

初期き裂発生時期予測ステップ（ステップ S 3）は、その新たなエレクトロニクス機器を開発した際の電子回路基板のはんだ接合部に疲労試験を与えながら接合はんだの初期き裂未発生段階の相成長を観察してその相成長を外挿することにより接合はんだに初期き裂が発生する初期き裂発生時期を予測するステップである。

#### 【0 0 2 8】

この初期き裂発生時期予測ステップにおける疲労試験では、上述の実測ステップ（ステップ S 1）で採用した疲労試験と同一の疲労試験が採用される。

#### 【 0 0 2 9 】

この初期き裂発生時期予測ステップでは、定期的に、すなわち、疲労試験として温度サイクル試験や機械サイクル試験を採用したときは、所定サイクルごとに、また、荷重負荷高温試験を採用したときは、所定時間間隔で、接合はんだが数サンプル抜き取られ、電子顕微鏡にてそのはんだの粒子形状が観察され相成長の度合いが測定される（ステップ S 3 1）。これらの定期的な観察は、その接合はんだに初期き裂が発生するよりもずっと前の段階で行なわれる。

#### 【 0 0 3 0 】

次に、その初期き裂が発生する前の段階で行なわれた相成長が外挿され、その接合はんだに初期き裂が発生する時期（疲労試験として温度サイクル試験あるいは機械サイクル試験を採用したときは初期き裂が発生するサイクル数、荷重負荷高温試験を採用したときは初期き裂が発生するまでの時間）が算出される（ステップ S 3 2）。

#### 【 0 0 3 1 】

このステップ S 3 2 における初期き裂発生時期の算出にあたっては、実測ステップ（ステップ S 1）で求められている、接合はんだに初期き裂が発生した時点における相成長の実測値が参照され、外挿により、その実測値に相当する相成長に達した時期が初期き裂発生時期として算出される。

#### 【 0 0 3 2 】

また、破断時期算出ステップ（ステップ S 4）は、有限要素法を用い、データ上の接合はんだに仮想初期き裂を与えてクリープ解析を行なうことにより仮想き裂が接合はんだの破断に相当する長さまで進展した破断時期を算出するステップである。この破断時期算出ステップでは、仮想初期き裂算出ステップ（ステップ S 2）により、実測ステップ（ステップ S 1）で実測された破断時期に対応するように求められた長さの仮想初期き裂が採用される。また、この破断時期算出ステップ（ステップ S 4）では、シミュレーション演算上、実測ステップ（ステップ S 1）および初期き裂発生時期予測ステップ（ステップ S 3）で採用された

疲労試験と同一の疲労試験が与えられる。

### 【0033】

図1に示す破断時期算出ステップでは、有限要素法を用いデータ上の接合はんだに仮想初期き裂を与えた弾塑性クリープ解析が行なわれ（ステップS41）、その弾塑性クリープ解析により相当非線形ひずみ振幅 $\Delta \epsilon$ が算出され（ステップS42）、Manson-Coffin則を適用してその相当非線形ひずみ振幅 $\Delta \epsilon$ からき裂進展速度が算出され（ステップS43）、そのき裂進展速度から破断時期（破断までのサイクル数あるいは破断までの時間）が求められる（ステップS44）。

### 【0034】

図2は、図1の破断時期算出ステップ（ステップS4）に代えて採用することのできる、破断時期算出ステップの他の例のフローを示す図である。

### 【0035】

この図2に示す破断時期算出ステップ（ステップS4'）では、有限要素法を用いデータ上の接合はんだに仮想初期き裂を与えた弾クリープ解析が行なわれ（ステップS41'）、その弾クリープ解析によりクリープJ積分範囲 $\Delta J_c$ が算出され（ステップS42'）、そのクリープJ積分範囲 $\Delta J_c$ が評価式、例えば前掲の非特許文献1に記載された評価式

$$da/dN = 32.1 \times \Delta J_c^{1.807}$$

に従ってき裂進展速度 $da/dN$ に変換され（ステップS43'）、そのき裂進展速度から破断時期（破断までのサイクル数、あるいは破断までの時間）が求められる（ステップS44'）。

### 【0036】

図1に示す破断時期算出ステップ（ステップS4）に代えて、図2に示す破断時期算出ステップ（ステップS4'）を採用してもよい。

### 【0037】

この破断時期算出ステップは、図1の破断時期算出ステップ（ステップS4）を採用した場合、あるいは図2の破断時期算出ステップ（ステップS4'）を採用した場合のいずれであっても、図1の初期き裂発生時期予測ステップ（ステッ

プ S 3) と並行して実施することができ、はんだ接合寿命を短期間に評価することができる。

#### 【0038】

また、ステップ S 3 の初期き裂発生時期予測ステップは初期き裂発生までは正確に予測することができ、ステップ S 4 あるいはステップ S 4' の破断時期算出ステップは初期き裂発生後に関するシミュレートであり、仮想初期き裂の長さを適切に設定しておくことにより正確なシミュレートが可能であり、したがって全体としてのはんだ接合寿命を高精度に評価することができる。

#### 【0039】

以下では、疲労試験として温度サイクル試験を採用して行なった、はんだ接合部の破断寿命予測手法についての評価試験について説明する。

##### (1) 試験片形状及び温度サイクル試験

###### (1. 1) 試験片形状

使用した試験片形状を図 3、図 4 に示す。試験片は、 $\square 110\text{ mm}$ 、厚さ  $0.8\text{ mm}$  の FR-4 基板に PKG (パッケージ) を 4 個実装したものである。BGA はんだ接合部の詳細を図 5 に示す。はんだ接合部は、 $0.8\text{ mm}$  ピッチで外周 4 列に配列されており、全部で 224 ピン搭載されている。使用したはんだは、

(a) Sn/Pb (Pb/63.0 Sn/2.0 Ag)

(b) Sn/Ag/Cu (Sn/3.0 Ag/0.7 Cu)

の 2 種類である。

###### (1. 2) 温度サイクル試験

温度サイクル試験は、通常使用されている加速温度サイクル試験と実際の電子機器の使用条件を模擬した常温域温度サイクル試験の 2 種類の温度レンジで行った。下記に温度条件を示す。図 6 に使用した温度サイクル試験機の温度プロフィールを示す。

#### 【0040】

(a) 加速温度サイクル試験： $-65^{\circ}\text{C}$  (0.5 h)  $\Leftrightarrow 125^{\circ}\text{C}$  (0.5 h)

(b) 常温域温度サイクル試験： $20^{\circ}\text{C}$  (2 h)  $\Leftrightarrow 80^{\circ}\text{C}$  (2 h)

## (2) 相成長観察によるき裂発生寿命予測

相成長観察による評価は、以下の手順で行った。

- ・ はんだ組織の相成長を観察
- ・ 相成長変化の定量化
- ・ 相成長及び加速係数の評価
- ・ き裂発生寿命サイクルの検討

## (2. 1) はんだ組織観察

はんだ組織及び熱疲労き裂の観察のためのサンプル抜き取りサイクルは、同種 P K G の破断試験結果より、き裂発生寿命を予測して決定した。表 1 にサンプル抜き出しサイクル数及び各条件の抜き出すサンプル数  $n$  を示す。また、き裂発生確認のための抜き出しサイクル数を下記に示す。

- ・ 加速温度サイクル試験 ( $-65^{\circ}\text{C} \Leftrightarrow 125^{\circ}\text{C}$ )

① S n / P b : 1 2 0 サイクル

② S n / A g / C u : 4 0 0 サイクル

- ・ 常温域温度サイクル試験 ( $20^{\circ}\text{C} \Leftrightarrow 80^{\circ}\text{C}$ )

③ S n / P b : 7 0 サイクル

④ S n / A g / C u : 2 3 0 サイクル

【0 0 4 1】

【表 1】

温度条件	はんだ	サンプリングサイクル	n
$-65^{\circ}\text{C} \Leftrightarrow 125^{\circ}\text{C}$	Sn/Pb	30, 60, 100	8
	Sn/Ag/Cu	90, 180, 300	
$20^{\circ}\text{C} \Leftrightarrow 80^{\circ}\text{C}$	Sn/Pb	100, 150, 200	
	Sn/Ag/Cu	150, 300, 450	

【0 0 4 2】



2種類の温度サイクル試験を規定サイクル行った試験片を、P K G対角線に断面研磨し、はんだ組織の観察を行った。はんだ接合部を走査型電子顕微鏡（SEM）の反射電子像を用いて観察した。観察点は、同種P K Gの実験結果の破断位置で決めたP K G最外周B G Aとし、き裂発生が予測される基板側の角部分とした。

### 【0043】

図7に加速温度サイクル試験の観察画像例を示す。なお、組織の観察は、はんだ接合部のき裂発生が予測される基板側の角から $50\mu\text{m}$ 内側で行った。図7は、S n / P b はんだの観察画像例であり、明るい部分が $\alpha$  P b 相であり、暗い部分が $\beta$  S n 相である。温度サイクルが多くなるにつれて、 $\alpha$  P b 相の成長が観察できる。また、ここでの図示は省略したが、S n / A g / C u はんだにおいては、A g<sub>3</sub>S n 相が明るく小さい粒として見え $\beta$  S n 相が暗く見えた。S n / A g / C u に関しては、明るく見えるA g<sub>3</sub>S n 相の成長が観察できた。

### （2. 2）組織変化の定量化

撮影したSEM画像を用いて、各サイクルにおける相寸法を計測した。S n / P b はんだにおいては、組織全体の平均相寸法 $d$ を算出し、S n / P b 共晶はんだの熱疲労き裂発生寿命評価で用いた $S = d^4$ で定義される相成長パラメータ $S$ （前掲の非特許文献2，3参照）を導入して評価を行った。S n / A g / C u はんだに関しては、 $\beta$  S n 相とA g<sub>3</sub>S n 相で構成されている。しかし、両結晶寸法が大きく異なるので、今回は観察が容易なA g<sub>3</sub>S n 相に着目して観察を行った。すなわち、A g<sub>3</sub>S n 相の平均面積 $A$ を求め、S n / P b はんだと同様に $S = A^2$ で定義される相成長パラメータ $S$ を導入して評価を行った。

### （2. 3）相成長及び加速係数の評価

各温度サイクル試験について、サイクル数 $N$ と相成長パラメータ $S$ の関係、すなわち相成長曲線を求めた。図8にS n / P b はんだについての相成長曲線を示す。また、図9にS n / A g / C u はんだの相成長曲線を示す。これらを見ると、相成長パラメータ $S$ とサイクル数 $N$ の間に比例関係が見られた。その相成長曲

線より、各条件 1 サイクルあたりの  $S$  の平均増加量 ( $\Delta S$ ) を求めると下記のようになる。

(a) 加速温度サイクル試験

$$\textcircled{1} S_{n/Pb} : (\Delta S)_a = 1.666 E - 01 \mu m^4$$

$$\textcircled{2} S_{n/Ag/Cu} : (\Delta S')_a = 1.926 E - 04 \mu m^4$$

(b) 常温域温度サイクル試験

$$\textcircled{3} S_{n/Pb} : (\Delta S)_r = 6.629 E - 02 \mu m^4$$

$$\textcircled{4} S_{n/Ag/Cu} : (\Delta S')_r = 6.458 E - 05 \mu m^4$$

次に、これらの相成長曲線を用いて、加速係数を推定する。 $S_{n/Pb}$  はんだ、 $S_{n/Ag/Cu}$  はんだの疲労き裂発生寿命の  $\Delta S$  による推定式を次式に示す。

【0044】

【数 1】

$$\Delta S = A \times N^{-\beta} \quad \dots\dots (1)$$

【0045】

ここに、 $A$  及び  $\beta$  ははんだ材料固有の定数である。今回の試験の対象である  $S_{n/Pb}$  はんだと  $S_{n/Ag/Cu}$  はんだの各温度サイクルにおける疲労き裂発生寿命は次のように表される。

【0046】

【数 2】

$$(\Delta S)_a = A \times N_a^{-\beta}, \quad (\Delta S')_a = A \times N'_a^{-\beta} \quad \dots\dots (2)$$

【0047】

## 【数 3】

$$(\Delta S)_r = A \times N_r^{-\beta}, \quad (\Delta S')_r = A \times N_r'^{-\beta} \quad \dots\dots (3)$$

## 【0048】

ここに、 $N_a$ 、 $N_a'$ 、及び $N_r$ 、 $N_r'$ は、それぞれの加速温度サイクル試験及び常温域温度サイクル試験の疲労き裂の発生のサイクル数を表す。さらに、 $S_n/Pb$ はんだ、 $S_n/Ag/Cu$ はんだの加速係数 $C$ 、 $C'$ を $C = N_a/N_a'$ 、 $C' = N_r/N_r'$ で定義すると、 $C$ 、 $C'$ は次式で表される。

## 【0049】

## 【数 4】

$$C = [(\Delta S)_a / (\Delta S)_r]^{(1/\beta)} \quad \dots\dots (4)$$

## 【0050】

## 【数 5】

$$C' = [(\Delta S')_a / (\Delta S')_r]^{(1/\beta')} \quad \dots\dots (5)$$

## 【0051】

$S_n/Pb$ はんだの $\beta$ 及び $S_n/Ag/Cu$ はんだの $\beta'$ を $\beta = 0.538$ 、 $\beta' = 0.54$ と仮定し、前述の $(\Delta S)_a$ 、 $(\Delta S)_r$ 及び $(\Delta S')_a$ 、 $(\Delta S')_r$ を用いると、それぞれの加速係数は下記のようになった。

## 【0052】

$S_n/Pb$ はんだ： $C = 5.54$

$S_n/Ag/Cu$ はんだ： $C' = 7.57$

## (2. 4) き裂発生寿命の検討

Sn/Pb、Sn/Ag/Cu はんだのき裂発生を予測した抜き出しサイクル数における、き裂発生サンプル数を表 2 に示す。また、なお、Sn/Ag/Cu はんだの常温域温度サイクル試験に関しては、現在のところき裂が発生するところまで実験が進んでおらず、表 2 では空欄のままとした。なお、疲労き裂の発生定義は、はんだコーナパンプ断面を観察した際  $10\mu\text{m}$  以上のき裂が存在する時とした。Sn/Pb、Sn/Ag/Cu はんだ両者共に、き裂の発生がみられた。

【0053】

【表 2】

はんだ	温度サイクル テスト条件	き裂発生 サンプル数	最大 き裂長さ	サンプリング サイクル
Sn/Pb	$65^{\circ}\text{C} \Leftrightarrow 125^{\circ}\text{C}$	2/8	$17\mu\text{m}$	120
	$20^{\circ}\text{C} \Leftrightarrow 80^{\circ}\text{C}$	2/8	$20\mu\text{m}$	700
Sn/Ag/Cu	$65^{\circ}\text{C} \Leftrightarrow 125^{\circ}\text{C}$	6/8	$50\mu\text{m}$	400
	$20^{\circ}\text{C} \Leftrightarrow 80^{\circ}\text{C}$			

【0054】

ここで、上記式 (2) ~ (5) より相成長き裂発生寿命予測との比較を行う。Sn/Pb はんだにおいて、 $N_a = 100 \sim 150$  サイクルとすれば、 $N_r = 554 \sim 831$  サイクルと推定値が得られる。この値を  $N = 700$  サイクルにおけるき裂発生状況と比較すると、8 サンプル中 2 サンプルにき裂が観察された。このことから、 $N_r = 554 \sim 831$  サイクルという推定値はおおむね妥当な結果と言える。また、Sn/Ag/Cu はんだにおいて、 $N'_a = 300 \sim 400$  サイクルとすれば、 $N'_r = 2270 \sim 3030$  サイクルという推定値が得られる。Sn/Ag/Cu はんだに関しては、実際の常温域温度サイクル試験の結果を待つて推定値との比較を行なう。

## (3) き裂進展解析

## (3. 1) 解析モデル

P K G 一つに対して、解析モデルを作成した。解析モデルは、基板に対し対称性を考慮して 1 / 4 全体モデル及びはんだバンプ 1 個分の詳細モデルの 2 種類作成し、全体解析と詳細解析の 2 段階で解析を行った。図 1 0、図 1 1 に全体解析モデル、詳細解析モデルを示す。き裂進展解析を行うために、詳細解析モデルにおいては、非線形ひずみ振幅集中部であった基板側はんだくびれ部円周に仮想き裂を入れたモデルも作成した。その際、5 0  $\mu$  m 毎の進展速度を評価するために、き裂長さを 5 0  $\mu$  m とした。なお、最小メッシュサイズは 1 2 . 5  $\mu$  m で詳細モデルを作成した。

### ( 3 . 2 ) 熱疲労寿命解析

表 3 に解析に使用した物性値の一部を示す。解析は、汎用構造解析コード A B A Q U S を用いて、3 次元弾塑性クリープ解析を実施し、非線形ひずみ振幅を求めた。先に全体解析モデルでの解析を行い、その解析結果から得られた境界条件を用いて、同種 P K G で破断の見られたコーナバンプ 1 個分の詳細モデル 2 種類（仮想き裂無しのモデル及び仮想き裂を作成したモデル）による解析を行った。

【 0 0 5 5 】

【表 3】

材料	ヤング率 (Mpa)	ポアソン比	線膨張係数 (ppm/℃)
基板	14220.0	0.2	17.6
チップ	188275.2	0.3	3.59
モールド樹脂	18300.0	0.3	12.0
テープ	3598.8	0.3	20.0
レジスト	2746.0	0.3	55.0

【 0 0 5 6 】

詳細解析結果より、S n / P b、S n / A g / C u の 2 種類のはんだ、各温度条件において、基板側の角に最大非線形ひずみ振幅が発生した。実験によりき裂発生を確認した個所と解析結果の一致が見られた。

## (3.3) き裂進展評価

共晶はんだなどのはんだ接合部の熱疲労による破断寿命 $N_f$ は、下記(6)式のManson-Coffin則によって評価できることが明らかになっている(例えば、Qiang Yu and Masaki SHIRATORI, Thermal Fatigue Reliability Assessment For Solder joints of BGA Assembly、ASME Advances in Electronic Packaging 1999、EEP-vol. 26-1、239-24) ,

$$N_f = B \times \Delta \epsilon^n \quad \dots\dots (6)$$

ただし、 $B$ と $n$ ははんだ接合部の疲労強度特性である。き裂進展解析を行うために、き裂発生寿命 $N_f$ を定義するManson-Coffin則を作成する必要がある。そこで、評価式の傾きは、下記の破断寿命の傾きを使用した(西村、他6名、鉛フリーはんだBGA寿命解析、エレクトロニクス実装学会誌、Vol. 4 No. 5 (2001)、416-419)。

## 【0057】

$$Sn/Pb : N_f = 24.5 \Delta \epsilon^{-0.786} \quad \dots\dots (7)$$

$$Sn/Ag/Cu : N_f = 31.0 \Delta \epsilon^{-0.674} \quad \dots\dots (8)$$

き裂発生寿命 $N_i$ は、き裂進展評価の関係上、表2の最大き裂長さが $50 \mu m$ となるサイクルとした。き裂進展評価は、実験を実施した $Sn/Pb$ 、 $Sn/Ag/Cu$ はんだの $-65^\circ C \Leftrightarrow 125^\circ C$ の温度条件のみ評価した。下記に用いた各はんだのき裂発生寿命を示す。

## ・ き裂発生寿命

$Sn/Pb$  : 353.44 サイクル

(き裂長さとサイクルの関係を線形近似)

$Sn/Ag/Cu$  : 400 サイクル

上記結果を用いて累積損傷則を適用してき裂進展評価を行った。き裂が破断に至るまで( $230 \mu m$ )のサイクルを求めた。

#### (4) 破断寿命サイクルの比較

破断試験による破断寿命サイクル結果と本手法による破断寿命予測結果を合わせて図 1 2, 図 1 3 に示す。ここでは、き裂が  $50\ \mu\text{m}$  から  $100\ \mu\text{m}$  までのき裂進展速度をそのまま破断に至るまで外挿した。

##### 【0 0 5 8】

最小—平均—最大の横線は実験における破断が生じたサイクル数のばらつき、すなわち、実験において破断が生じたときの最小サイクル数、平均サイクル数、最大サイクル数を表わしている。

##### 【0 0 5 9】

$\text{Sn/Pb}$  はんだに関しては、本手法での予測結果が実測の平均破断寿命と比較して短寿命となった。ばらつき範囲内にあり、今回の評価では、最も短い寿命を予測していることもあることから、妥当な誤差範囲で予測できていると思われる。また、図 1 3 に示す  $\text{Sn/Ag/Cu}$  はんだにおいては、実測による平均破断寿命と比較して若干長寿命となった。実測によるばらつき範囲内から若干離れたが、これは実験による  $n$  数が 4 と界面破断サンプルを除き少なかったためと考えられる。 $\text{Sn/Ag/Cu}$  においても、妥当な誤差範囲で予測できることがわかった。

##### 【0 0 6 0】

図 1 4 は、 $\text{Sn/Pb}$  はんだにおける初期き裂の長さの違いによる寿命評価結果を示している。

##### 【0 0 6 1】

仮想初期き裂長さが  $50\ \mu\text{m}$  のとき (A) よりも  $12.5\ \mu\text{m}$  のとき (B) の方が短寿命の評価結果をとっている。このように仮想初期き裂の長さを調整しておくことにより、実験結果 (図 1 の実測ステップ S 1) に対応する評価結果を得ることができる。

##### 【0 0 6 2】

次に温度サイクル試験を行なったときの評価に要する期間について説明する。

##### 【0 0 6 3】

従来、実際に温度サイクル試験を行なって破断寿命を判定するには、通常 2 ～

3カ月を要している。例えば、 $-65^{\circ}\text{C} \sim 125^{\circ}\text{C}$  温度サイクル試験 1500 サイクル以上で判定の場合、 $-65^{\circ}\text{C}$  保持時間：30分、 $125^{\circ}\text{C}$  保持時間：30分、移行時間：5分（図6（A）参照）、1サイクルあたり：1時間10分（マイナス側霜とりあり）、1日あたり：19サイクルとすると、

$$1500 \text{ サイクル} \div 19 = 79 \text{ サイクル} = 2.6 \text{ ヶ月}$$

必要であった。これに対し今回の評価手法を導入すると、相成長観察に1.5週間（ $-65^{\circ}\text{C} \sim 125^{\circ}\text{C}$ ：30, 60, 90サイクルに約5日、電子顕微鏡による観察：3日、データ整理：3日）とし、き裂進展解析に2週間（モデル化：3日～5日、計算時間：3日～5日データ整理：1日）とすると、相成長観察と、き裂進展解析を別々の日程で行なった場合であっても、寿命を評価するのに0.8ヶ月で済むことになる。

#### 【0064】

このように、今回の評価手法を導入することにより、従来よりも短期間で寿命評価を行なうことができる。

#### 【0065】

##### 【発明の効果】

以上説明したように、本発明によれば、はんだ接合部の破断寿命を高精度かつ短期間に評価することができる。

##### 【図面の簡単な説明】

##### 【図1】

はんだ接合寿命予測方法の一実施形態の処理フローを示す図である。

##### 【図2】

図1の破断時期算出ステップに代えて採用することのできる、破断時期算出ステップの他の例のフローを示す図である。

##### 【図3】

試験片形状を示す図である。

##### 【図4】

試験片形状を示す図である。

##### 【図5】



B G A はんだ接合部の詳細を示す図である。

【図 6】

温度サイクル試験の温度プロファイルを示す図である。

【図 7】

加速温度サイクル試験の観察画像例を示す図である。

【図 8】

S n / P b はんだの相成長曲線を示す図である。

【図 9】

S n / A g / C u はんだの相成長曲線を示す図である。

【図 1 0】

全体解析モデルを示す図である。

【図 1 1】

詳細解析モデルを示す図である。

【図 1 2】

破断試験結果と破断寿命予測結果を示す図である。

【図 1 3】

破断試験結果と破断寿命予測結果を示す図である。

【図 1 4】

S n / P b はんだにおける初期き裂の長さの違いによる寿命評価結果を示す図である。

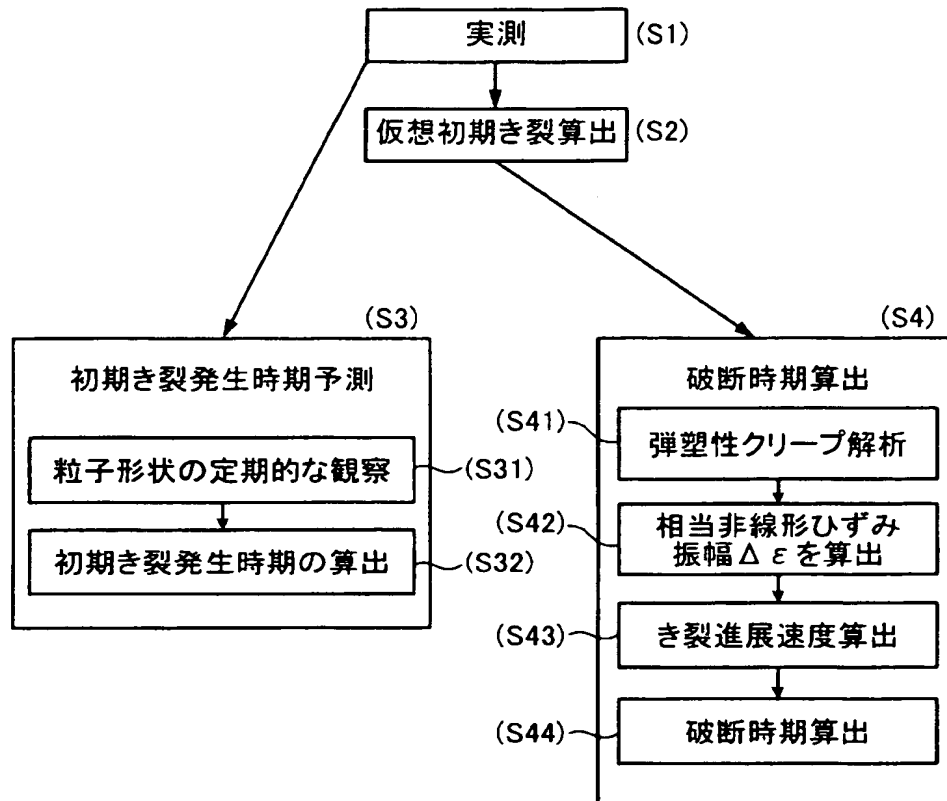
【符号の説明】

- S 1 実測ステップ
- S 2 仮想初期き裂算出ステップ
- S 3 初期き裂発生時期予測ステップ
- S 3 1 粒子形状の定期的な観察
- S 3 2 初期き裂発生時期の算出
- S 4 破断時期算出ステップ
- S 4 1 弾塑性クリープ解析
- S 4 2 相当非線形ひずみ振幅  $\Delta \epsilon$  を算出

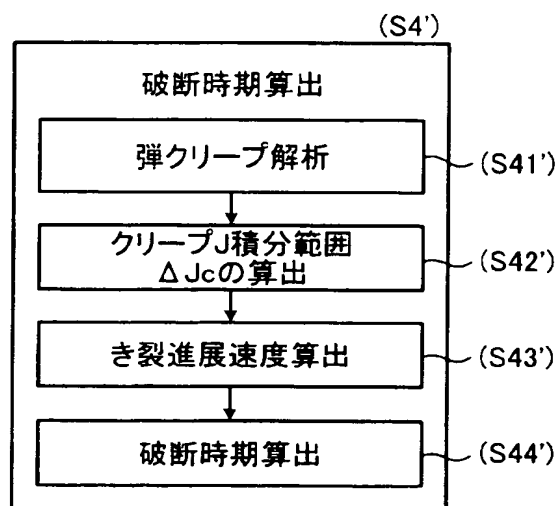
- S 4 3      き裂進展速度算出
- S 4 4      破断時期算出
- S 4 '      破断時期算出ステップ
- S 4 1 '      弾クリープ解析
- S 4 2 '      クリープ積分範囲  $\Delta J_c$  の算出
- S 4 3 '      き裂伸展速度算出
- S 4 4 '      破断時期算出

【書類名】 図面

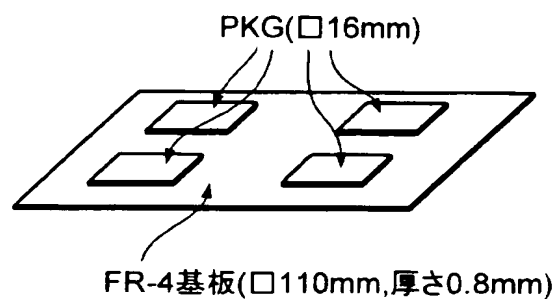
【図 1】



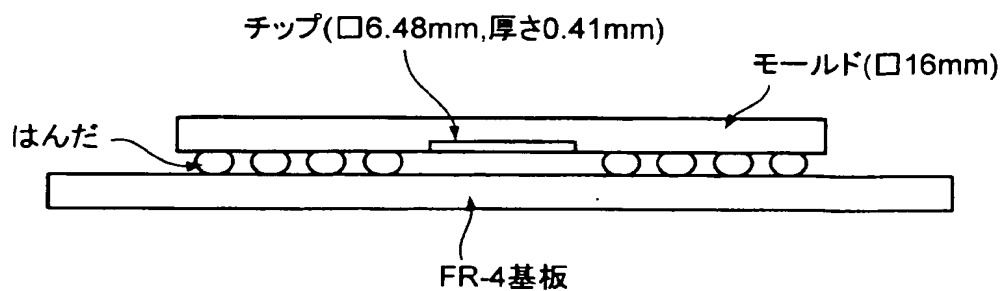
【図 2】



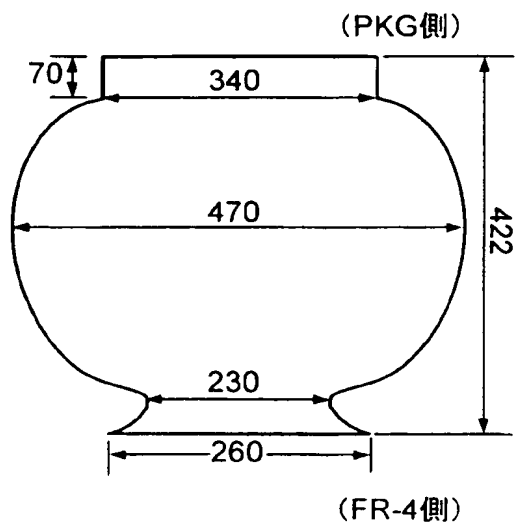
【図 3】



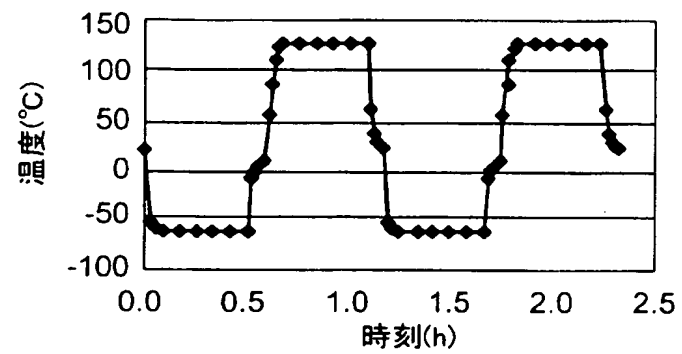
【図 4】



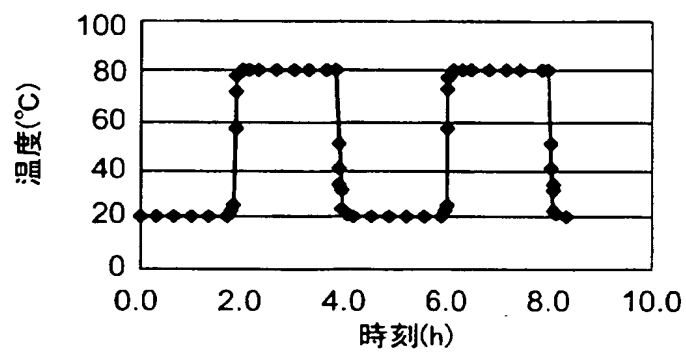
【図 5】



【図 6】

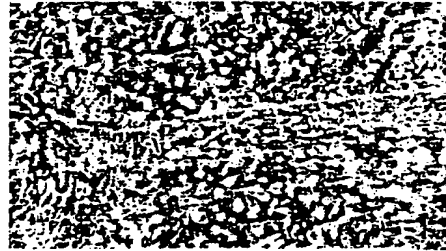


(A)加速温度サイクル試験

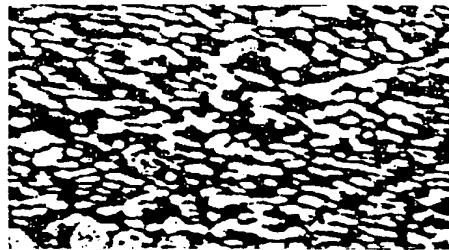


(B)常温域温度サイクル試験

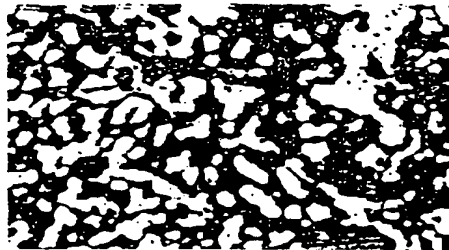
【図 7】



(A) 初期状態

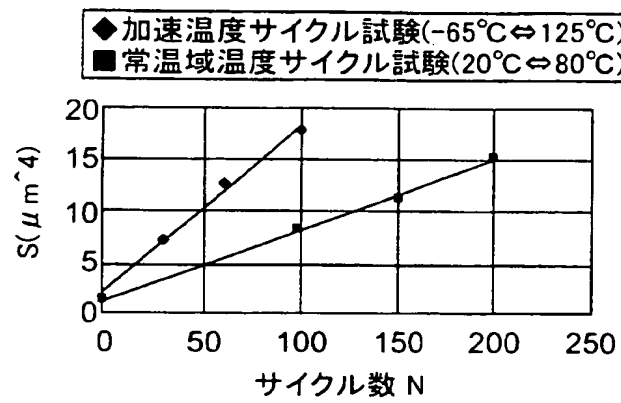


(B) 30サイクル後

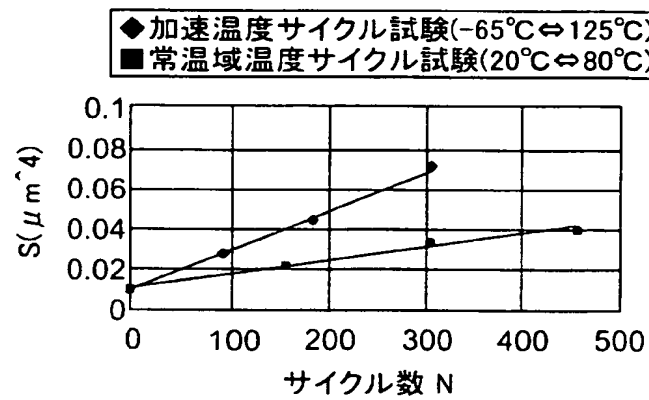


(C) 100サイクル後

【図 8】

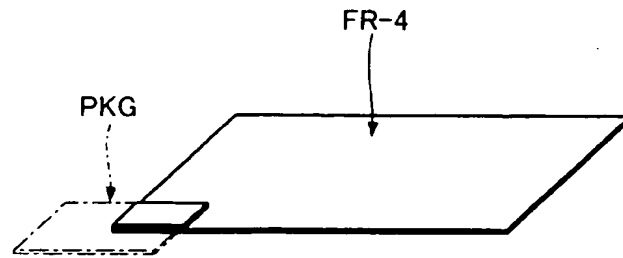


【図 9】

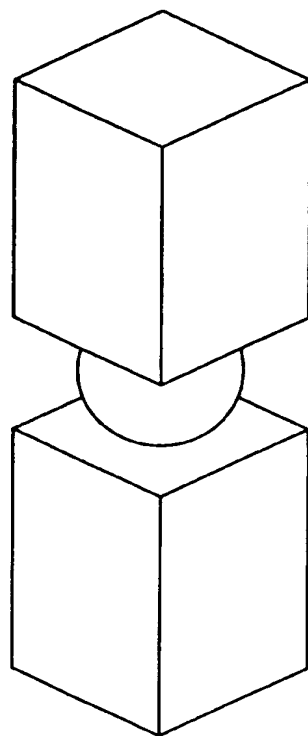




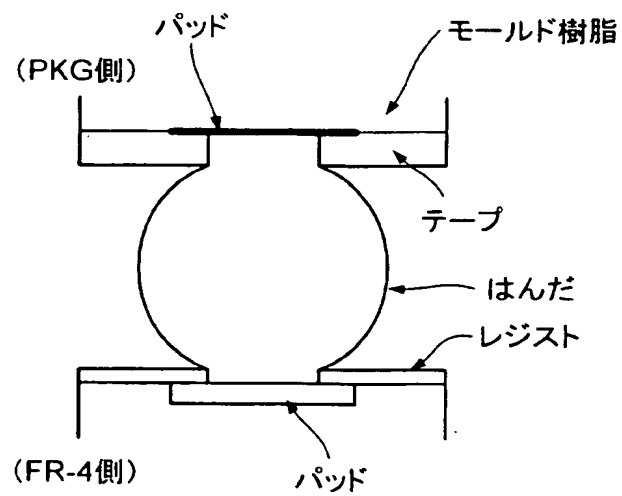
【図 10】



【図 11】

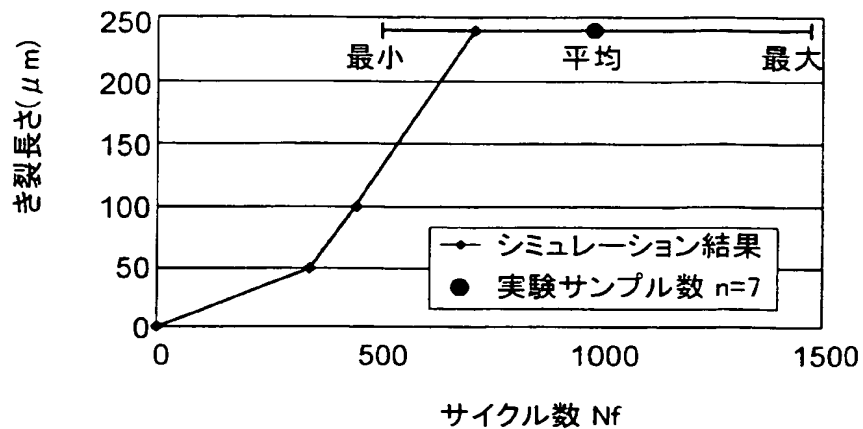


(A)

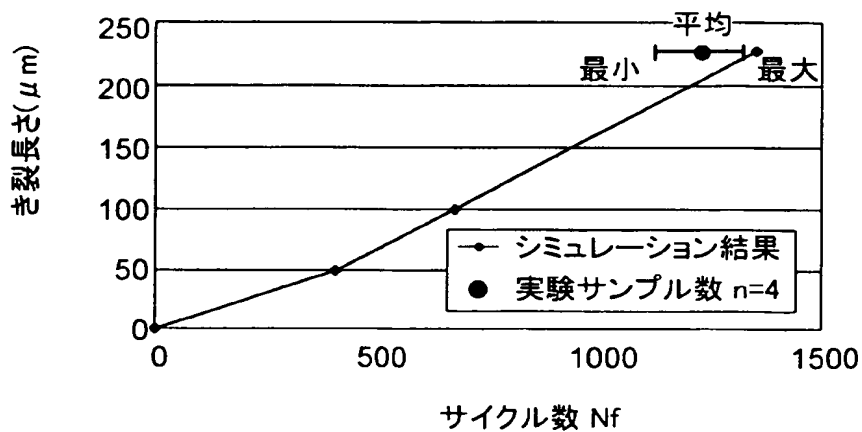


(B)

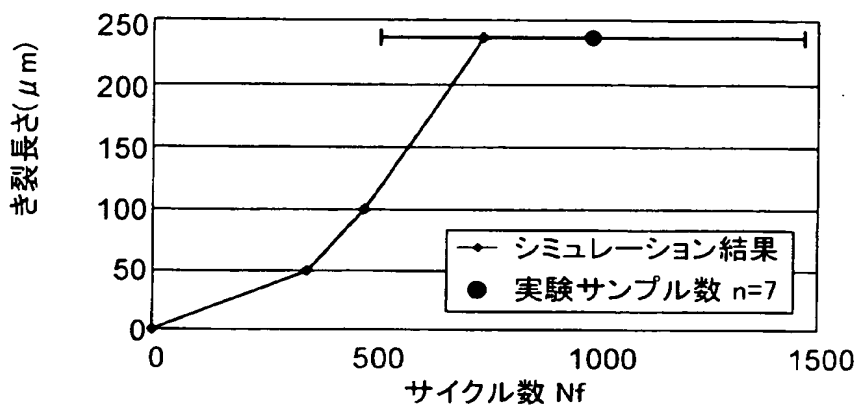
【図 12】



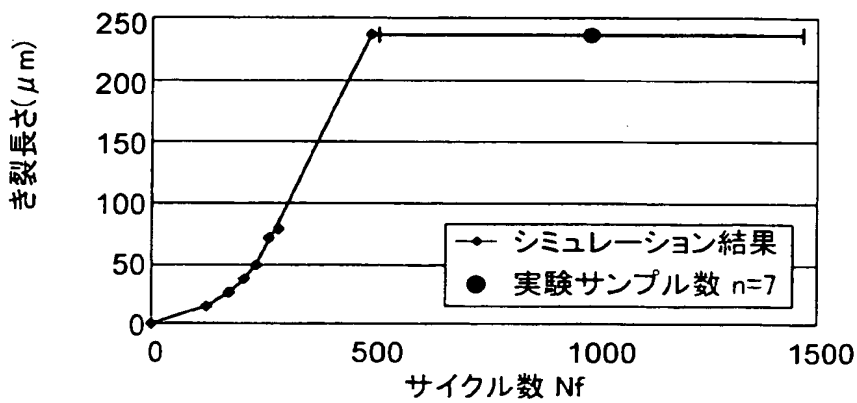
【図 13】



【図 14】



(A) 初期き裂長さ 50 μm



(B) 初期き裂長さ 12.5 μm

【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 本発明は、部材どうしを接合した接合はんだの接合寿命を予測するはんだ接合寿命予測方法に関し、はんだ接合部の寿命を高精度かつ短期間に予測する。

【解決手段】 初期き裂未発生の段階の相成長を観察することによってその相成長を外挿して接合はんだに初期き裂が発生する初期き裂発生時期を予測し、初期き裂発生後に関しては、データ上の接合はんだに仮想初期き裂を与えてクリープ解析を行なうというシミュレーションにより破断時期を算出する。

【選択図】 図 1

特願 2 0 0 3 - 0 2 7 8 3 6

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[ 0 0 0 0 0 5 2 2 3 ]

1. 変更年月日

1 9 9 6 年 3 月 2 6 日

[変更理由]

住所変更

住 所

神奈川県川崎市中原区上小田中 4 丁目 1 番 1 号

氏 名

富士通株式会社